

(2)

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-141011

(P2002-141011A)

(43)公開日 平成14年5月17日(2002.5.17)

(51)Int.Cl.⁷
 H 01 J 37/06
 G 01 B 15/00
 G 01 N 23/225
 G 01 R 1/06
 31/302

識別記号

F I
 H 01 J 37/06
 G 01 B 15/00
 G 01 N 23/225
 G 01 R 1/06
 G 21 K 5/04

テマコト(参考)
 Z 2 F 06 7
 B 2 G 00 1
 2 G 01 1
 F 2 G 03 2
 F 4 M 10 6

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-336177(P2000-336177)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(22)出願日 平成12年11月2日(2000.11.2)

(71)出願人 000000239

株式会社荏原製作所

東京都大田区羽田旭町11番1号

(72)発明者 浜島 宗樹

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74)代理人 100089705

弁理士 社本 一夫 (外5名)

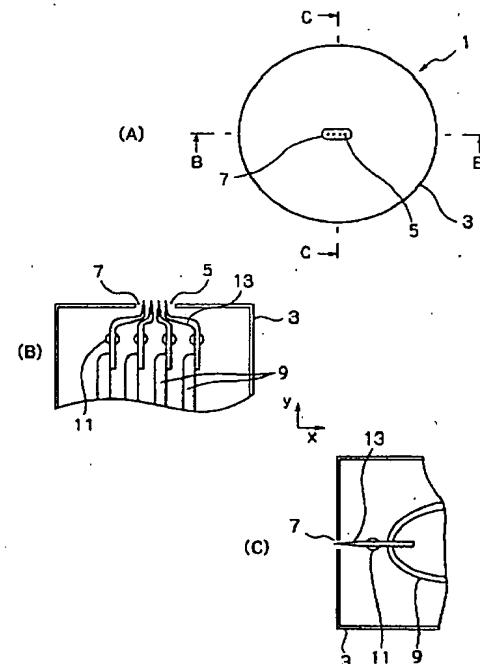
最終頁に続く

(54)【発明の名称】電子線装置および該電子線装置を用いたデバイス製造方法

(57)【要約】

【課題】半導体デバイスパターンの各種測定や検査を高精度、高信頼性、高スループットでおこなうことができるようとする。

【解決手段】電子銃から放出された電子線を試料表面に照射し、該試料表面から放出された二次電子を検出することにより試料表面の評価を行う電子線装置において、上記電子銃は単一の電極の内部に複数の熱陰極を配置し、上記電極の電子放出穴位置に上記複数の熱陰極の陰極先端を合わせた構造からなる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】電子銃から放出された電子線を試料表面に照射し、該試料表面から放出された二次電子を検出することにより試料表面の評価を行う電子線装置において、前記電子銃は単一の電極の内部に複数の熱陰極を配置し、前記電極の電子放出穴位置に前記複数の熱陰極の陰極先端を合わせた構造からなることを特徴とする電子線装置。

【請求項2】請求項1の電子線装置であって、前記熱陰極はTFEエミッタ(熱電界放出型エミッタ)であることを特徴とする電子線装置。

【請求項3】請求項1の電子線装置であって、前記電極の電子放出穴は、長円または複数の円を該円の直径より狭い間隔で連続配置した形状であることを特徴とする電子線装置。

【請求項4】前記電子銃から光軸方向に離間した位置に单一のNA開口板を設けたことを特徴とする電子線装置。

【請求項5】請求項1ないし4の電子線装置を用いてプロセス途中のウェーハを評価することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子線を半導体ウェーハに形成されたパターン等(試料)に照射し、試料の照射点から発生する二次電子を検出し、該二次電子の画像信号から最小線幅0.1μm以下のデバイスパターンの欠陥検査、線幅測定、合わせ精度測定、電位コントラスト測定、高時間分解能電位コントラスト測定等の評価を高精度、高信頼性、高スループットで行う装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体加工用の電子線描画装置において電子線放出源としてTFE(熱電界放出)電子銃を使用することは公知である。また、電子線を半導体デバイスのマスクパターンあるいは半導体ウェーハ等の試料に照射し、試料から放出される二次電子を検出し、その検出信号から試料の欠陥等を検出する写像投影光学系を用いた欠陥検査装置は公知である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記TFE電子銃を用いたものは、単一電子銃を使用するものであるためマルチビームを形成することができず高スループットの欠陥検出を行うことはできない。すなわち、電子銃のもつエミッタスはTFE電子銃の場合、電子源直径が20nm程度であり、ビーム放出角は±5°=180mrad程度であるので、これらの積のエミッタスは $20 \times 10^{-9} \times 180 \text{ mrad} = 3.6 \mu\text{m} \cdot \text{mrad}$ 程度である。

【0004】一方、マルチビーム形成に必要なエミッタ

2

ンスは、ビーム間隔=200μm、開口角=1mradとすると、エミッタス $\geq 200 \mu\text{m} \cdot \text{mrad}$ が必要となり、単一のTFE電子銃ではマルチビームは作れない。

【0005】一方、上記写像投影光学系を用いたものは、ランタンヘキサボライド(LaB6)陰極を備えた電子銃から試料面に約 $100 \mu\text{m} \times 25 \mu\text{m}$ の矩形ビームを照射するものであるが、該ビームはピクセル当たりのビーム電流が小さく、二次電子検出効率も悪いので高速で検査を行うことができないという問題点があった。

【0006】本願発明は、TFE電子銃と同程度の輝度をもつマルチビームを形成し、そのマルチビームを用いて高スループットで欠陥検出等をなし得る電子線装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明は、電子銃から放出された電子線を試料表面に照射し、該試料表面から放出された二次電子を検出することにより試料表面の評価を行う電子線装置において、単一の電極の内部に複数の熱陰極を配置し、該電極の電子放出穴位置に前記複数の熱陰極の陰極先端を合わせた構造の電子銃を用いることを特徴とする。

【0008】上記熱陰極としてはTFEエミッタ(熱電界放出型エミッタ)を使用することができる。上記のように、放射電子ビームの放射角電流密度が高く、ビームの安定度の高い熱陰極、就中、TFEエミッタを使用することにより、精度および信頼性の高い測定や検査を行うことができる。また、複数の熱陰極を使用することにより、マルチビームを形成したのでビームの数だけ測定や検査のスループットを上げることができる。

【0009】上記電子線装置において、上記各熱陰極は独立して加熱可能とすることができる。上記のように、各熱陰極を独立に加熱可能とすることにより、マルチビーム間の強度を調整することができる。例えば、複数のビームの内特定のビームが強すぎる場合はその熱陰極の加熱電力を少し下げればよい。また、周辺のビームが弱ければ周辺の熱陰極の加熱電力を増せばよい。

【0010】さらに、本発明は、上記電子線装置において、前記複数の熱陰極はほぼ直線状に配置することができる。上記のように複数の熱陰極を直線状に配置することにより、直線状に並んだマルチビームを形成できるので、その並びと直角方向に試料台を連続移動させることにより、高スループットの測定や検査が可能となる。

【0011】上記電極の電子放出穴は、長円、または複数の円を該円の直径より狭い間隔で連続配置した形状とすることができる。さらに、本発明は、単一の電極の内部に複数の熱陰極を配置した電子銃から放出された電子線をレンズで収束し、試料面上に結像させる電子線装置において、上記電子銃から光軸方向に離間した位置に单一のNA開口板を設くことができる。

50

3

【0012】上記電子銃から光軸方向に離間した位置しは、前記複数の熱陰極の最外側熱陰極の間隔を1とするとき

$$L > 1/2 \sin 4^\circ$$

の条件を満足することが望ましい。

【0013】上記条件を満たす位置にNA決定開口板を設けることにより、後述するように、全ての熱陰極からの電子を一つの光軸上に集めることができる。本発明の上記電子線装置は、欠陥検査装置、線幅測定装置、合わせ精度測定装置、電位コントラスト測定装置、あるいはストロボSEMに使用することができます。

【0014】本発明の電子線装置を欠陥検査装置、線幅測定装置、合わせ精度測定装置、電位コントラスト測定装置、あるいはストロボSEMに使用することにより、これらの検査および測定をビーム数だけ高速で行うことができる。

【0015】さらに、本発明の上記電子線装置を用いてプロセス途中のウェーハを評価することができ、これによってビーム数だけウェーハ製造能力を向上させることができます。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態を添付図面を参照して説明する。図1は、本発明の電子線装置に使用する電子銃の構造を示したものである。

【0017】該電子銃1は、単一のショットキーシールド3の内部に複数のTFEエミッタ(熱電界放出型エミッタ)5を直線状に配置し、該複数のTFEエミッタ5の陰極先端を上記ショットキーシールドの電子放出穴7位置に合わせた構造を有する。図示の例では、幅約200μm、長さ約600μmの電子放出穴7が設けられ、4本のTFEエミッタ5はそのほぼ中央に一列に配置されている。ショットキーシールド3に設ける電子放出穴5は、図示のように長円とするか、または複数の円を該円の直径より狭い間隔で連続配置した形状とすることができる。図示の例では、TFEエミッタ5は、x方向における間隔がほぼ100μmとなるように4本配置し、加熱用タングステン線9にそれぞれ独立にスポット溶接してある。各TFEエミッタにはZrが11で示されるようにスポット溶接され、加熱によってエミッタ先端に拡散するようにセットされている。

【0018】すなわち、各TFEエミッタ5は、図示のように、タングステン製の加熱ループ9に、タングステンの(100)軸を向いた鋭い単結晶針13を取り付け、その幹の部分に、ZrH₂少量塗布する。このようにしたものを真空中で熱処理すると、ZrH₂は分解して、水素が逃げていきZr11が残る。真空中でゆっくり加熱すると、Zrは、タングステン単結晶針13の表面を拡散して、針の先端に到着し、針先端に薄いZr層を形成する。このようにしたものを、酸素雰囲気の中で加熱処理し、ふたたび真空中で短時間加熱すると、先端

4

の(100)面の仕事関数が低下し、電子放射がそこに集中するようになる。

【0019】このようにして形成された各TFEエミッタ5の先端は約800nmの半径を持ち、電子放出源の大きさは約50nm程度の直径を有し、放射電子の放射電流角密度の分布は、図2に示すように、±4°の範囲ではほぼ平坦であり、その外側にリング状の強いピークがあり、さらにその外側は急激に減少するプロファイルを有する。したがって、本発明では、後述するように、放射電流角密度がほぼ一定となる±4°の範囲を使用するようにした。

【0020】図3は、上記構造の電子銃を用いた欠陥検査装置の一例を示す概略図である。同図において、1は電子放出源となる電子銃、21は一次光学系の光軸、23はNA決定開口板、25、27はコンデンサレンズ、29は偏向器、31は一次光学系のビームを試料方向に垂直入射させかつ二次電子を一次電子より分離するEXB分離器、33は対物レンズとなる静電レンズ、35は検査対象となる試料、37は二次光学系の光軸、39、41は二次電子を拡大する静電レンズ、43は二次光学系の検出器である。

【0021】図示の装置において電子銃1から放出されたビームは、NA決定開口板23により開口角を決定され、コンデンサレンズ25にて第1像位置24に像を形成され、さらにコンデンサレンズ27によりEXB分離器31の中心面に結像される。EXB分離器31は、試料35の法線(紙面の上方向)に垂直な平面内において、電界と磁界とを直交させた構造となっており、電界、磁界、電子のエネルギーの関係が一定条件を満たすときには電子を直進させ、それ以外のときには、これら電界、磁界、電子のエネルギー相互の関係により所定方向に偏向させるようになっている。図示の装置では、電子銃1からのビームを試料35面に垂直に入射させるように直進させ、また試料からの二次電子を二次光学系の光軸37に沿って検出器43方向に偏向させるように設定されている。

【0022】試料35面から放出された二次電子は、対物レンズ33で拡大され、EXB分離器31の中心面に結像される。EXB分離器31の電界および磁界は、二次電子が二次光学系の光軸37方向に偏向するように設定されているので、一次電子より分離されて二次光学系の光軸に沿って進み、静電レンズ39、41で拡大され、図示しないマイクロチャンネルプレートにより所定倍率に増幅された後、検出器43のターゲットに結像される。検出器43に入射した二次電子はそこで電気信号を光信号に変換された後、画像信号に変換され、さらに画像処理された後、図示しない表示器へ画像表示されるようになっている。

【0023】しかして、図示の装置では、電子銃1のショットキーシールド3から光軸方向に60mm離れた位

5

置にNA決定開口板23を設け、すぐ下に設けたコンデンサレンズ25、27および対物レンズ33で試料35面に倍率1の像を形成するようにした。倍率はコンデンサレンズ25、27をズーム動作させ、第1像位置24をZ方向（光軸方向）に移動させることにより変化させることができる。この際、第1像位置24を下方へ移動させると倍率は1より大きくなり、試料35面上で50nmより大きいクロスオーバー像が形成され、これと同時に開口半角 α_1 が小さくなる。クロスオーバー像の寸法を変えないで、開口角を変えるにはNA決定開口板23の開口の穴径を変えればよい。したがって、図示の光学系をどのようなプローブ径で使用するか予め決めれば、クロスオーバー径と開口角とを独立に決定できるので、最適条件で使用することができる。すなわち、（プローブ径）² = （クロスオーバー径）² + （トータル収差）²の関係があり、トータル収差は開口半角に依存する。クロスオーバー径=トータル収差としたときビーム電流が最大になり、それがそのプローブ径での最適条件となる。

【0024】なお、NA決定開口板23の前記電子銃のショットキーシールド3から光軸方向に離間した位置では、上記複数のTFEエミッタの最外側エミッタの相互間の間隔を1とすると、上述した放射電子の放射電流角密度を考慮して

$$L > 1/2 \sin 4^\circ$$

の条件を満足するような位置とする。すなわち、図3の例で、最も右側のエミッタ5から左側に放出された電子線がNA決定開口板23の開口の左側エッジで遮蔽され、最も左側のエミッタ5から右側へ放出された電子線が開口板23の開口の右側エッジで遮蔽される条件が満足されるようとする。このようにすると、4本のエミッタ5から放出された電子線はそれぞれ開口23を一様な強度で照明することとなる。

【0025】なお、図3においてL₀は上記NA決定開口板23の最小距離を示す。このように、NA決定開口板23を配置することにより、すべてのエミッタ5からの電子を一つの光軸上に集めることができる。

【0026】図示の欠陥検査装置において倍率を1:1とした場合、電子銃1の4つのビーム間隔は試料面上で100μmとなる。各ビーム間は走査用偏向器29とEB分離器31の電極（オクタポール）に走査電圧を印加してx方向に500μmの範囲を走査することにより走査できる。y方向には試料台を連続移動させる。このように4つのビームをx方向に走査し、y方向に試料台を連続移動させることにより平面の評価（検査）を行うことができる。

【0027】なお、図1で各エミッタ5の先端位置をX、Y、Zの3軸方向に高精度に位置合わせすることは困難である。したがって、エミッタ5の先端位置はXおよびZ方向にのみ高精度に位置合わせし、Y方向に位置

10

20

30

40

50

6

ズレしている場合には、二次電子より画像を形成する際にこれを補正すればよい。

【0028】図4は、本発明の半導体デバイス製造方法の一例を示すフローチャートである。この例の製造工程は以下の各主工程を含む。

- (1) ウェーハを製造するウェーハ製造工程（又はウェーハを準備するウェーハ準備工程）（ステップ10）
- (2) 露光に使用するマスクを制作するマスク製造工程（又はマスクを準備するマスク準備工程）（ステップ11）
- (3) ウェーハに必要な加工処理を行うウェーハプロセッシング工程。（ステップ12）
- (4) ウェーハ上に形成されたチップを一個ずつ切り出し、動作可能にするチップ組立て工程。（ステップ13）
- (5) 完成したチップを検査する検査工程。（ステップ14）

なお、これらの主工程はさらにいくつかのサブ工程からなっている。

【0029】これら主工程の中で、デバイスの性能に影響を及ぼす主工程は、ウェーハプロセッシング工程である。このウェーハプロセッシング工程では、設計された回路パターンをウェーハ上に順次積層し、チップを多数形成する。

【0030】このウェーハプロセッシング工程は、以下のサブ工程を含んでいる。

- (I) 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属膜等を形成する薄膜形成工程（CVDやスピッタリング等を用いる）。
- (II) この薄膜層やウェーハ基板を酸化する酸化工程。
- (III) 薄膜層やウェーハ基板等を選択的に加工するためにマスク（レクチル）を用いてレジストのバターンを形成するリソグラフィー工程。
- (IV) レジストのバターンに従って薄膜層やウェーハ基板加工するエッチング工程（例えばドライエッチング等）
- (V) イオン・不純物注入拡散工程。
- (VI) レジスト剥離工程。
- (VII) 加工されたウェーハを検査する検査工程。

なお、ウェーハプロセッシング工程は、多層ウェーハの場合には層数だけ繰り返し行い、デバイスを製造する。

【0031】図5は、図4のウェーハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を示すフローチャートである。このリソグラフィー工程は、以下の各工程を含んでいる。

- (1) 前段の工程で回路パターンが形成されたウェーハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程。（ステップ20）
- (2) レジストを露光する露光工程。（ステップ21）

(3) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程。(ステップ22)

(4) 現像されたレジストパターンを安定化させるためのアニール工程。(ステップ23)

以上のデバイス製造工程、ウェーハプロセッシング工程、リソグラフィー工程については、周知であるのでこれ以上の説明を省略する。

【0032】上記(VII)の加工されたウェーハを検査する検査工程に、本発明の電子線装置を用いることにより、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループットよく検査ができるので、全数検査が可能となり、製品の歩留まりを向上させ、欠陥製品の出荷を防止することができる。

【0033】なお、本発明による電子線装置は、フォトマスクやレクチル、ウェーハ等(試料)の欠陥検査装置、線幅測定装置、合わせ精度測定装置、電位コントラスト測定装置、あるいはストロボSEMに使用することができる。

【0034】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば以下のような作用効果が得られる。

1) 放射電子ビームの放射角電流密度が高く、ビームの安定度の高い熱陰極を使用することにより、精度および信頼性の高い測定や検査を行うことができる。

【0035】2) マルチビームとしたのでビームの数だけ測定や検査のスループットを上げることができる。

3) 各熱陰極は独立に加熱できるので、マルチビーム間の強度を調整することができる。例えば、複数のビームの内特定のビームが強すぎる場合はその熱陰極の加熱電力を少し下げればよい。また、周辺のビームが弱ければ周辺の熱陰極の加熱電力を増せばよい。

【0036】4) 直線状に並んだマルチビームを形成できるので、その並びと直角方向に試料台を連続移動させることにより、高スループットの測定や検査が可能となる。

5) 電子銃から $L > 1/2 \sin 4^\circ$ の条件を満たす位置にNA決定開口板を設けることにより、全ての熱陰極からの電子を一つの光軸上に集めることができる。*

10

* 【0037】6) 本発明の電子線装置を欠陥検査装置、線幅測定装置、合わせ精度測定装置、電位コントラスト測定装置、あるいはストロボSEMに使用することにより、これらの検査および測定をビーム数だけ高速で行うことができる。

【0038】7) 本発明の電子線装置を用いてプロセス途中のウェーハを評価を行うことにより、ビーム数だけウェーハ製造能力を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明による電子線装置に使用される電子銃の実施の形態を示す概略構成図であり、同図(A)は平面図、同図(B)は同図(A)のB-B断面図、同図(C)は同図(A)のC-C断面図である。

【図2】図2は本発明による電子線装置に使用される電子銃の放射電子の角度依存性を示すグラフである。

【図3】図3は本発明による電子線装置の実施の形態を示す概略構成図である。

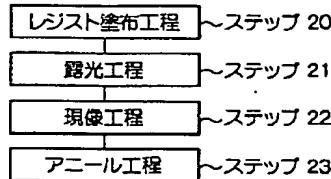
【図4】図4はデバイス製造工程を示すフローチャートである。

20 【図5】図5はリソグラフィー工程を示すフローチャートである。

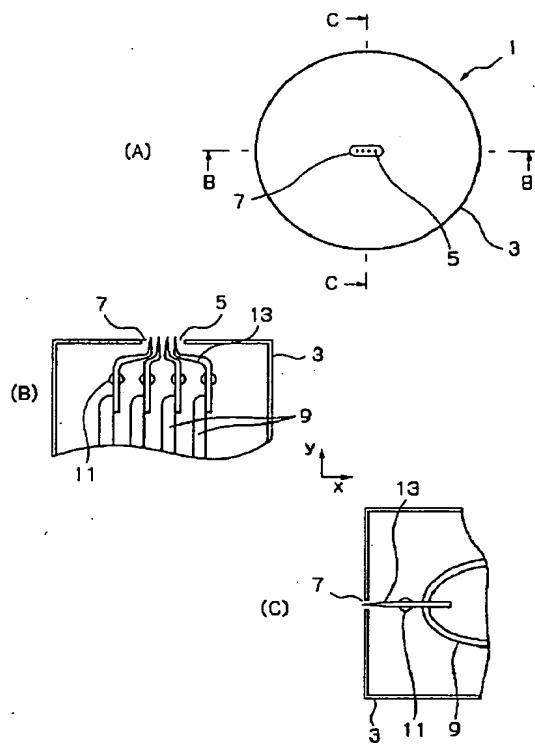
【符号の説明】

1	電子銃
3	ショットキーシールド
5	TFEエミッタ
7	電子放出穴
9	加熱ループ
11	Zr
13	単結晶針
23	NA決定開口板
24	第1像位置
25, 27	コンデンサレンズ
29	偏向器
31	EXB分離器
33	対物レンズ
35	試料
39, 41	静電レンズ
43	検出器

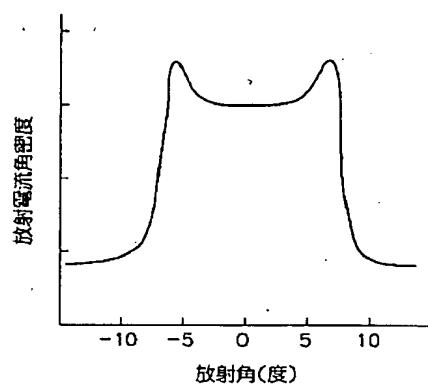
【図5】



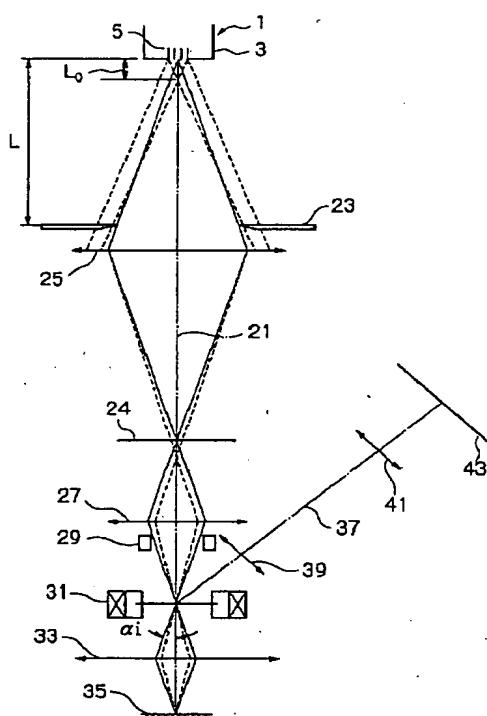
【図1】



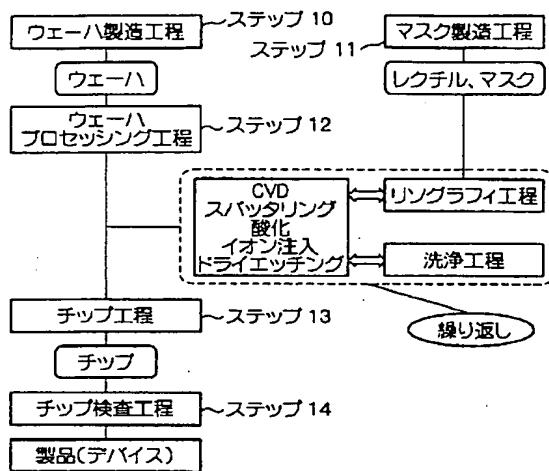
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 21 K	5/04	G 21 K 5/04	W 5 C 0 3 0
H 01 J	37/073	H 01 J 37/073	5 C 0 3 3
	37/28	37/28	B
H 01 L	21/027	H 01 L 21/66	J
	21/66	G 01 R 31/28	L
		H 01 L 21/30	5 0 2 V

(72)発明者 中筋 譲
東京都大田区羽田旭町11番1号 荘原マイ
スター株式会社内

(72)発明者 野路 伸治
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社
莊原製作所内

(72)発明者 佐竹 徹
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社
莊原製作所内

F ターム(参考) 2F067 AA26 AA54 AA62 BB01 BB04
CC17 EE10 HH06 HH13 JJ05
KK04 LL00 QQ01 UU01
2G001 AA03 BA07 CA03 GA01 GA06
GA09 KA03 LA11 MA05
2G011 AA01 AE03
2G032 AA00 AD08 AF08
4M106 AA01 BA02 CA08 CA39 CA50
DB05
5C030 BB02 BB17 CC02 CC03
5C033 FF02 JJ07 MM07 UU02